

COMPORTAMIENTO HÍDRICO, MODIFICACIÓN MICROMORFOLÓGICA Y EROSIÓN DE SUELO EN LOS BADLANDS DE RAMBLA SALADA (MURCIA, ESPAÑA) BAJO LA ACCIÓN DE LLUVIAS SIMULADAS

*Fernández Gambín, I. **, *López Bermúdez, F. ** y *Alonso Sarría, F. **

Universidad de Murcia

*Le Goué, P. ***

Université de Caen (France)

RESUMEN

Los paisajes abarrancados (*badlands*) constituyen un tipo de modelado esparcido, en diverso grado de evolución, por las regiones semiáridas mediterráneas. Favorecidos por un contexto geológico, geomorfológico y bioclimático favorable, son también la respuesta al desequilibrio de unos ambientes frágiles deficientemente gestionados por el hombre.

Este trabajo pretende destacar, mediante el uso de un simulador de lluvia, las relaciones entre precipitación, escorrentía, infiltración y modificaciones micromorfológicas en un sector de *badlands* del territorio semiárido del Sureste de la península Ibérica.

Palabras clave: badland, simulador de lluvia, escorrentía, erosión, micromorfología.

Hydrologic behaviour, micromorphologic changes and soil erosion study in badland areas, Rambla Salada (Murcia, Spain), with simulated rainfall

ABSTRACT

The badland areas are a landscape pattern developed at different degrees in the semiarid mediterranean areas. These landscapes are in relation with a favourable geologic, geomorphologic and bioclimatic context. However, they are also the response to the disequilibrium of fragile environments with a poor human management.

The aim of this paper is to show, using a nozzle rainfall simulator, the relationships between rainfall-runoff, infiltration and micromorphologic changes in a badland area on the semiarid South-East Spain.

Key words: badland, rainfall simulator, runoff, soil erosion, micromorphology.

Fecha de Recepción: 13 de junio de 1996.

* Dpto. de Geografía Física, Humana y Análisis Geográfico Regional. Facultad de Letras. Universidad de Murcia. Aptdo. 4021 • 30080 Murcia (España).

** Centre de Recherches de Géographie Physique de L'Environnement. Université de Caen. (France).

INTRODUCCIÓN

El término *badland* es utilizado esencialmente para caracterizar ciertos paisajes en los que los modelados se caracterizan por procesos de disección en materiales de débil resistencia bajo el efecto directo de las aguas de lluvia y de escorrentía. Esto se traduce en la topografía por una densa red de cárcavas y barrancos muy encajados, con vertientes abruptas y perfiles en V. Para Campbell (1989), los *badlands* son áreas que, por la irregularidad de su superficie y por su propensión a parecerse a desiertos en miniatura, presentan un débil interés económico.

Los *badlands* se encuentran con frecuencia en climas áridos (Bryan & Yair, 1982). En la aparición de esta morfología erosiva es muy frecuente la actuación de agentes **morfoclimáticos** semiáridos. Así, el área mediterránea muestra localmente zonas de paisajes abarrancados cuya amplitud e intensidad difieren según los grados de evolución y extensión (Alexander, 1980; Yair et al., 1980; Bryan & Yair, 1982; Harvey, 1982; Imeson et al., 1982; Clotet, Gallart & Sala, 1987; Gerits et al., 1991; Harvey & Calvo, 1989; Campbell, 1989; López-Bermúdez & Romero-Díaz, 1989; Alexander & Calvo, 1990; Benito et al., 1991; Harvey & Calvo, 1991; Calvo, Harvey & Payá, 1991; Tom & Monaci, 1991; Soriano, Cica & Torri, 1992; Payá & Cerdá, 1992; Gallart et al., 1992). En regiones semiáridas, los *badlands* son un reto constante para la actividad biológica y sobre todo para las plantas. Los sectores abarrancados se desarrollan sobre una litología poco resistentes (**margas**, arcillas, arenas,...) y constituyen una de las fuentes principales de producción de sedimentos. Los factores que participan en gran medida en la formación de *badlands* son los siguientes:

1. **Litología**: la alta erosionabilidad de las formaciones blandas, muy extendidas en los ámbitos **mediterráneos**, colabora ampliamente en la formación de cárcavas y barrancos. Estos materiales, de **origen** neógeno, predominantemente, rellenan las cuencas **sedimentarias** intrabéticas.

2. **Topografía**: las fuertes pendientes refuerzan el potencial erosivo de las redes hidrográficas, acelerando la disección de los materiales poco resistentes.

3. **Neotectónica**: los fenómenos ligados a esta actividad endógena, elevando y bajando bloques, han alterado la topografía activando los procesos de erosión. Esto ha contribuido por una parte al encajamiento de la red **hidrográfica** y por otra parte a la acumulación de sedimentos.

4. **Clima**: las condiciones climáticas áridas y semiáridas, caracterizadas por lluvias escasas e irregulares y frecuente alta intensidad horaria.

5. **Cubierta vegetal**: su carácter ralo está estrechamente ligado a las presiones ejercidas por el rigor del clima y por las actividades antrópicas. Se trata de una cobertura vegetal empobrecida que no protege el suelo adecuadamente.

6. **La utilización y gestión del territorio**, el sobrepastoreo, la eliminación de la cubierta vegetal para extender las tierras de cultivo, los incendios y el abandono de cultivos, tienen también una función significativa en el origen de estas superficies degradadas. En general,

los suelos de la España mediterránea, han estado sometidos a factores ambientales que han favorecido la degradación y la aparición de cárcavas y barrancos (López-Bermúdez & Albaladejo, 1990).

Mediante las experiencias con lluvia simulada, este estudio destaca las relaciones entre precipitaciones, escorrentía, infiltración y las modificaciones micromorfológicas en un importante sector de badlands del Sureste semiárido español.

METODOLOGÍA

La medición de diversos procesos relacionados con la lluvia ha permitido conocer algunos de los mecanismos y respuestas del suelo ante determinados acontecimientos: pérdida de sedimentos por escorrentía, niveles de infiltración, cambios morfológicos en superficie, etc. Sin embargo, la observación de procesos bajo condiciones naturales en ambientes semiáridos implica, en muchos casos, largos períodos de espera y, generalmente, no permite aislar variables para poder estudiarlas de forma individual.

El uso de simuladores de lluvia es uno de los métodos más aptos y ampliamente utilizados para estudiar la relación entre lluvia, escorrentía y pérdida de sedimentos así como para conocer la respuesta de cada tipo de suelo ante acontecimientos similares (Moldenhauer, 1965; Morin et al., 1967; Buberizer, 1980; Benito et al., 1986; Meyer, 1988; Paya & Cerdá, 1992; Fernández Gambín et al., 1995).

En este trabajo se ha utilizado el simulador (figura 1) descrito por Calvo et al. (1989). Se han realizado simulaciones de 30 minutos y 55 mm/h de intensidad sobre una toposecuencia de parcelas en las que se han tenido en cuenta 5 situaciones: interfluvio, parte superior y parte inferior de ladera en umbría y parte superior y parte inferior de ladera en solana. En cada situación se ha trabajado con tres tipos de cobertura: suelo desnudo, suelo pedregoso y suelo con vegetación.

Las pruebas se han repetido dos veces con un intervalo de siete días.

Los resultados obtenidos para cada simulación han sido ajustados al modelo de infiltración de Phillips (1957), cuya ecuación es:

$$i(t) = K + 1/2St^{-1/2}$$

K representa la conductividad hidráulica y S la sortividad.

La curva de infiltración resultante representa la capacidad máxima de infiltración de un suelo. No obstante, conviene recordar que no se puede aplicar el modelo cuando no se produce escorrentía. Por tanto, hay que descartar los valores iniciales en los que la escorrentía es igual a cero ya que la cantidad de agua precipitada al principio de la simulación es inferior a la capacidad de infiltración del suelo.

Para establecer una relación entre las características propias de cada parcela y los resultados obtenidos, se ha realizado un análisis de la varianza entre las variables cualitativas y las variables de escorrentía (coeficiente de escorrentía y parámetros de la ecuación de Phillips) y un análisis de correlación de las variables cuantitativas.



FIGURA 1. La lluvia simulada es una de las técnicas **más** utilizadas y de mayor fiabilidad para cuantificar tasas de infiltración, escorrentía y producción de sedimentos. En la figura, simulador de lluvia y equipo de presurización manual por aire comprimido, al iniciarse uno de los experimentos sobre suelo desnudo. Campo experimental de "Los Guillemos".

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

La caracterización ambiental del área de estudio ha sido descrita por López-Bermúdez et al. (1992). Las simulaciones se han **realizado** en el Campo Experimental de «Los Guillemos», situado a 200 metros de altitud, aproximadamente en el centro de la cuenca neógeno-cuatemaria de la Rambla Salada, adyacente a la cuenca de Mula a cuya evolución **morfoestructural** y paisajística se encuentra ligada (figura 2).

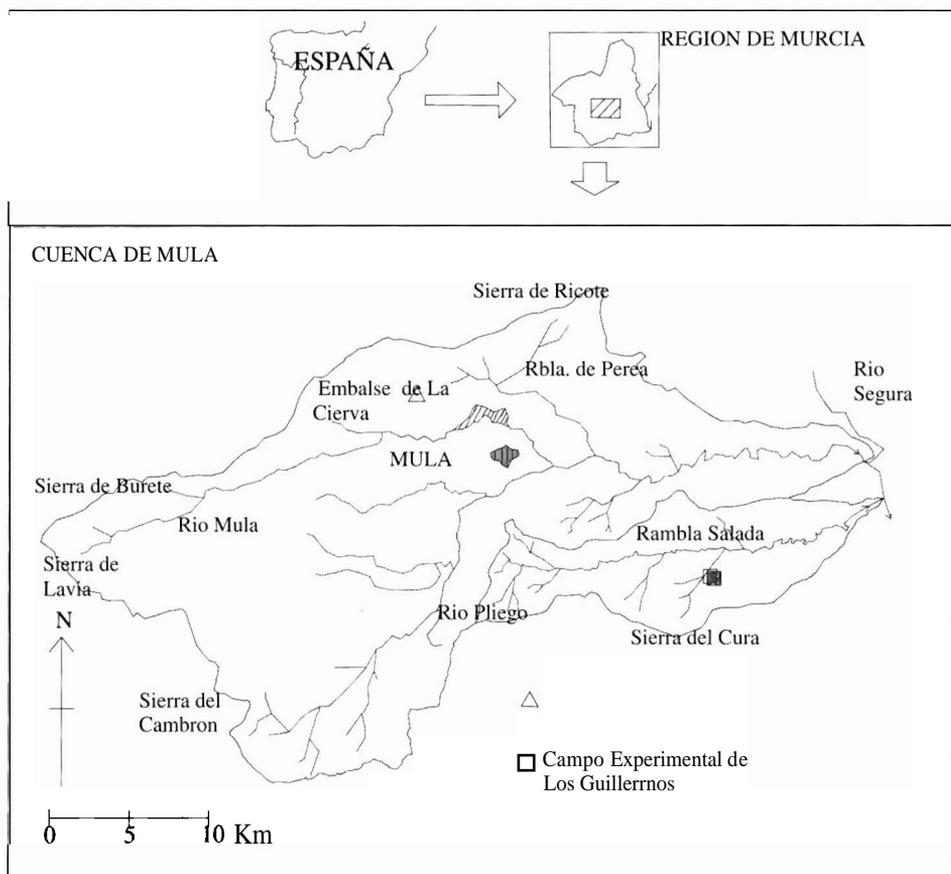


FIGURA 2. Localización del Campo Experimental de Los Guillermos.

Los materiales predominantes, poco resistentes a la erosión, son conglomerados, margas, arenas del Mioceno y depósitos cuaternarios no consolidados que los **recubren** parcialmente. Sobre estas rocas se han desarrollado suelos de tipo «regosol margálico» y «xerosol cálcicos que presentan un perfil simple tipo ranker A/C y más raramente A/AB/C. Los límites de Atterberg (W_l entre 52% y 30%; W_p entre 28.5% y 21%; I_p entre 20% y 13.5%) muestran que estos suelos y materiales son moderadamente plásticos cuando están húmedos y friables cuando se hallan en estado seco.

Las condiciones climáticas semiáridas registran como rasgos destacables una temperatura media de 18°C, y entre 250 y 300 mm. anuales de precipitación, con dos máximos equinociales en los que es frecuente que se presenten lluvias de intensa concentración horaria y, en consecuencia, de carácter torrencial y elevada capacidad erosiva. La combinación de ambos factores, elevada temperatura y escasa precipitación, condiciona una evapotranspiración potencial anual muy alta, del orden de los 1.100 mm. Esto supone que se trata de un área de acusado déficit **hídrico** y poco favorable a la cobertura vegetal arbórea.

La vegetación que coloniza el área responde a las condiciones edafoclimáticas descri-

tas. En general, se trata de un matorral **termófilo** mucho más denso en los sectores de umbría que en los de solana. Las especies más representativas y abundantes son el romero (*Rosmarinus officinalis*), tomillo (*Thymus zygis*), **albaida** (*Anthyllis citisoides*), escobilla (*Salsola genistoides*), lentisco (*Pistacia lentiscus*) y esparto (*Lygeum spartum*).

CUADRO 1
Características generales de las parcelas

Parcelas	Superficie (m ²)	Pendiente	Orientación	% Suelo desnudo	4 Piedras	% Vegetación	4 Restos vegetales	% Costra de splash	% Líquenes
1	0,2469	11	180	43,88	13,27	17,34	2,04	23,47	0,00
2	0,223	10	100	26,88	50,54	4,30	3,23	15,05	0,00
3	0,223	10	115	21,69	21,69	39,75	14,46	2,41	0,00
4	0,1709	11	125	73,61	1,39	0,00	0,00	25,00	0,00
5	0,1782	9	130	9,52	68,25	1,59	0,00	20,63	0,00
6	0,1675	14	120	27,42	16,13	35,48	17,74	3,23	0,00
7	0,1472	11	190	50,88	28,07	0,00	1,75	19,30	0,00
8	0,1641	12	175	23,53	57,35	13,24	5,88	0,00	0,00
9	0,1857	19	180	19,44	29,17	41,67	9,72	0,00	0,00
10	0,1483	14	15	64,91	0,00	1,75	3,51	28,07	1,75
11	0,1412	15	355	42,59	51,85	0,00	0,00	5,56	0,00
12	0,1654	11	335	11,67	3,33	50,00	20,00	1,67	13,33
13	0,1658	20	55	96,92	0,00	0,00	0,00	0,00	3,08
14	0,1784	14	240	23,33	71,67	0,00	5,00	0,00	0,00
15	0,1436	25	15	18,87	18,87	41,51	20,75	0,00	0,00

RESULTADOS

1. Características generales de las parcelas

Se instalaron:

- en el **interfluvio** las parcelas 1 (suelo desnudo), 2 (suelo pedregoso) y 3 (suelo con vegetación)
- en la parte superior de la ladera en solana las parcelas 4 (s.d.), 5 (s.p.) y 6 (s.v.)
- en la parte inferior de la ladera en Solana las parcelas 7 (s.d.), 8 (s.p.) y 9 (s.v.)
- en la parte inferior de la ladera en umbría las parcelas 10 (s.d.), 11 (s.p.) y 12 (s.v.)
- en la parte superior de la ladera en umbría las parcelas 13 (s.d.), 14 (s.p.) y 15 (s.v.)

Para cada variable de la tabla los valores individuales son **muy** heterogéneos.

2. Análisis granulométrico

Las texturas obtenidas muestran una gran heterogeneidad microespacial (cuadro 2). El grado de contaminación de los depósitos cuaternarios justifican el paso rápido de una

clase textural a otra. Lo mismo sucede con la fracción gruesa del suelo (en la parcela 13 no hay elementos superiores a 2 mm. mientras que en la parcela 9 superan el 65%).

CUADRO 2
Porcentajes de fracciones granulométricas

Parcelas	% Arcilla	% Limo fino	% Limo grueso	% Arena
1	24	25	28	23
2	21	17	22	40
3	24	22	22	32
4	29	27	25	19
5	26	25	25	34
6	22	21	26	31
7	22	20	17	41
8	30	37	19	14
9	19	18	16	47
10	21	20	22	37
11	21	21	12	46
12	20	19	23	38
13	34	25	17	24
14	30	22	27	21
15	23	14	22	41

3. Lluvia simulada y agua de escorrentía

Desde que comienza la escorrentía en las parcelas se recoge la escorrentía que se produce durante 30 segundos cada minuto. Globalmente, la cantidad de agua de escorrentía es mayor en la segunda prueba que en la primera para la casi totalidad de las parcelas (figura 3). Dos parcelas no han tenido escorrentía en ninguna prueba (9 y 15). Ambas están afectadas por fuertes pendientes pero tienen una cobertura vegetal dominante.

Las tasas de humedad más débiles se dan en los suelos en posición de interfluvio. La variación del porcentaje de humedad después de la simulación puede ir de simple a triple: del 11% de humedad para la parcela 9 al 30% para la parcela 10. El suelo está ligeramente más húmedo al comienzo de la segunda prueba, excepto para las parcelas 6 y 7. En la primera prueba la humedad del suelo aumenta 9 veces con la simulación, mientras que en la segunda prueba aumenta 7.5 veces debido a una mayor humedad inicial.

4. Escorrentía e infiltración

Los suelos sobre margas tienen un comportamiento hidrológico caracterizado por bajas tasas de infiltración y elevada escorrentía. En otras zonas de margas también se han

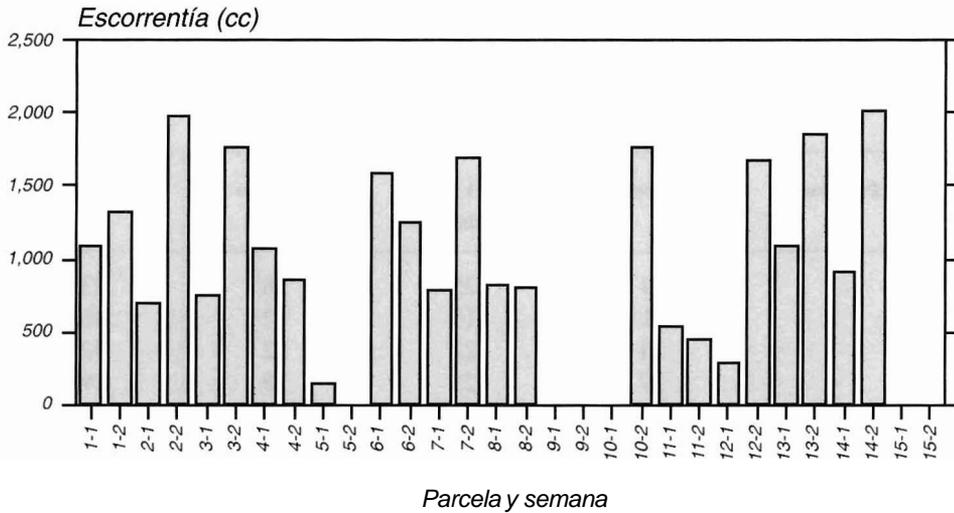


FIGURA 3. Comportamiento de la escorrentía durante la experiencia. En general, la respuesta hídrica es mayor durante la segunda prueba.

medido muy bajas tasas de infiltración comportamiento característico de las superficies de badlands (Campbell, 1974; Clotet et al., 1987; Amáez, 1988; Cerdá Bolinches, 1995).

Se constata (cuadro 3) que las cantidades de agua de escorrentía durante las pruebas no suponen nunca más del 15% de la cantidad total de lluvia recibida en la parcela. Por tanto, el agua infiltrada va del 100% en las parcelas que no tienen escorrentía hasta un mínimo del 85% (figura 4), valores más contrastados sobre margas para iguales

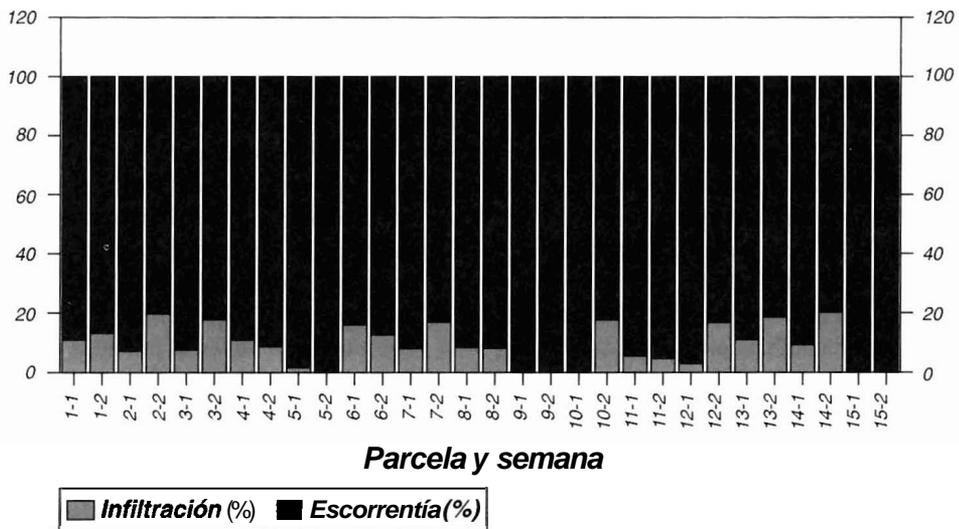


FIGURA 4. Porcentajes de infiltración. En todos los casos son muy elevados debido al déficit hídrico que presenta el suelo al principio de las pruebas.

intensidades de lluvia han sido obtenidos por Cerdá Bolinches (1995). No obstante, estos datos no permiten definir la capacidad de infiltración de un suelo ya que la cantidad de agua precipitada en los primeros minutos de experimentación ha sido siempre inferior a la capacidad real de infiltración del suelo. Esto se explica por el importante déficit hídrico del suelo durante el verano en clima semiárido.

CUADRO 3

Parámetros significativos de las pruebas de simulación (CE: Coeficiente de escorrentía, K=Parámetro K de Phillips, S=Parámetro S de Phillips)

Parcelas	1ª Prueba			2ª Prueba		
	C.E.%	K	S	C.E.%	K	S
1	10,96	160,82	133,78	13,25	149,69	147,69
2	7,2	123,35	254,49	19,78	122,59	128,64
3	7,64	141,82	162,33	17,8	106,09	202,65
4	10,92	36,05	411,56	8,72	101,78	150,65
5	1,7	152,92	23,39	0	'''	'''
6	16	77,38	178,02	12,68	95,1	129,58
7	8,08	99,61	85,15	16,94	80,89	104,11
8	8,45	108,05	89,29	8,16	87,09	171,16
9	0	'''	'''	0	'''	'''
10	0	'''	'''	17,7	68,13	148,77
11	5,58	122,16	0,63	4,73	115,52	24,29
12	3,05	155,84	4,75	16,82	110,61	10,08
13	11,03	76,01	215,29	18,63	66,31	201,1
14	9,33	89,11	215,89	20,24	85,58	137,58
15	0	'''	'''	0	'''	'''

5. Modificaciones morfológicas

La morfología superficial de las parcelas está ligada a múltiples factores: litología, pendiente, orientación, granulometría, tipo de cubierta. Los principales cambios morfológicos observados han sido el cierre de grietas y la formación de pequeños surcos (rills) (Conesa y López Bermúdez, 1995).

Generalmente, la densidad de las grietas es muy alta y su tamaño es mayor en verano (Paya Serrano, J.; Cerdá Bolinches, A., 1992; Conesa García et al., 1994; Cerdá Bolinches, 1995), aumentando la capacidad de infiltración del suelo. En las pruebas realizadas con intervalo de una semana, la red de fisuras es más densa al comienzo de la segunda serie, pero formada por grietas más pequeñas y discontinuas. En estas condiciones, a las que se une un nivel de humedad previa más elevado, el comienzo del cierre de grietas se retrasa ligeramente respecto a la primera serie (aunque en ambos casos no suele tardar más de dos minutos), pero el cierre total de fisuras, con una mayor variabilidad, es más rápido. Así, el

proceso completo de movilización y cierre de grietas requiere menos tiempo durante la segunda semana que durante el transcurso de la primera (figuras 5 y 6).

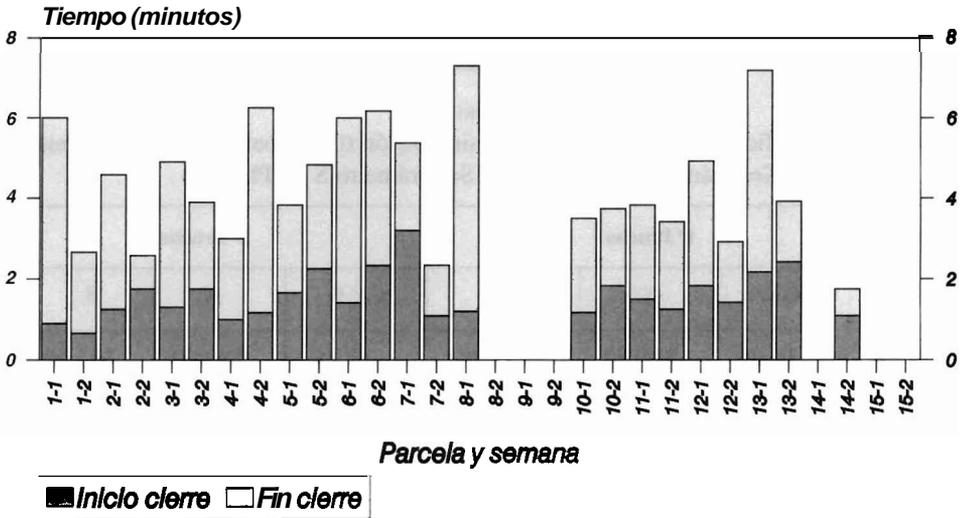


FIGURA 5. Modificaciones micromorfológicas.



FIGURA 6. Aspecto de la morfología superficial de un suelo margoso de badland por impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial, tras un experimento de 30 minutos de lluvia, con intensidad de $55 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ y sobre microparcela circular de $0,25 \text{ m}^2$.

La relación entre la existencia y movilidad de grietas y la granulometría y tipo de cobertura resulta evidente. Dos parcelas (P9 y P15) no han presentado grietas al comienzo de las simulaciones. Ambas muestran una cobertura vegetal superior al 40% y pertenecen a las clases texturales más arenosas (P9= limo arenoso; P15= limo arenoso arcilloso). Por el contrario, la parcela con una red de fisuras más densa (P13) presenta un suelo desnudo con ausencia absoluta de vegetación y pedregosidad, y está incluida en la clase textural más arcillosa (P13= arcilla). Así mismo, se observa que al aumentar el contenido en arcilla (P13, P8), las grietas requieren más tiempo para comenzar y completar el proceso de cierre. Los cambios observados en estos suelos, bajo el impacto de la lluvia, confirman el comportamiento dinámico de estas superficies margo-arcillosas.

La formación de surcos (*rills*) sólo se ha observado en tres casos, correspondiendo dos de ellos a parcelas con suelo desnudo (P4 y P13) y el tercero a una parcela en la que predomina la cobertura de piedras (P11). La ausencia de cubierta vegetal es absoluta.

La presencia de pequeños pedestales se ha limitado a parcelas con costra de splash (P4, P10) o con una ligera protección de líquenes (P13). Por otra parte, se observa que mientras que la costra de splash aparece en el interfluvio y en las dos vertientes, los líquenes se limitan a la ladera en umbría en la que se desarrollan con mayor facilidad (Alexander, R.W.; Calvo, A., 1990).

6. Escorrentía y pérdida de sedimentos

La relación entre agua de escorrentía y sedimentos transportados (figura 7) no es significativa. La regresión lineal muestra una relación media $r=0.593$ durante la primera prueba. En la segunda prueba el volumen de escorrentía es mayor pero el coeficiente de correlación es inferior a la primera prueba, siendo $r=0.500$. La densidad de sedimentos desciende de la primera prueba a la segunda.

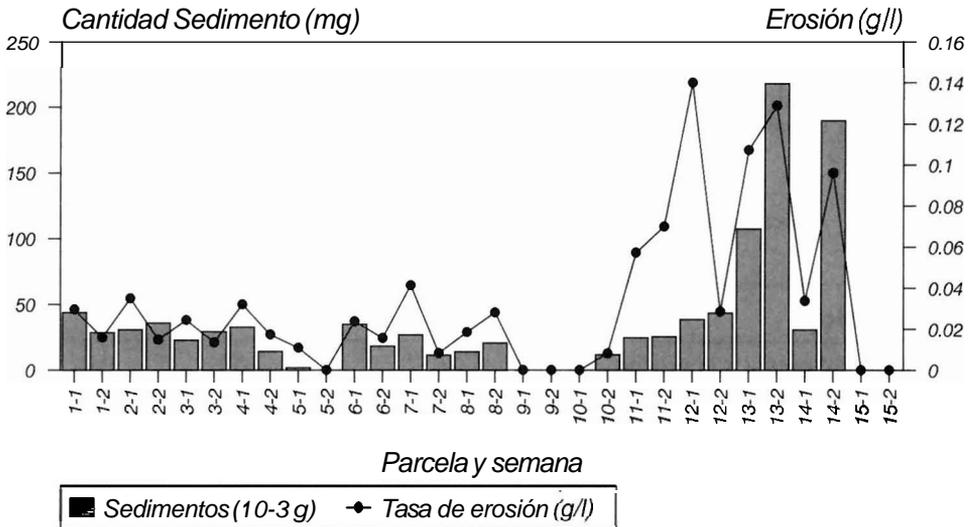


FIGURA 7. Cantidad de sedimento recogido y tasas de erosión.

7. Análisis estadístico de resultados

El análisis estadístico ha tenido en cuenta como variables independientes: posición, cobertura dominante y textura; y como variables cuantitativas: pendiente, porcentajes de las diferentes coberturas y porcentajes de las clases texturales.

Para cada parámetro se ha hecho un análisis de varianza y de correlación. Los parámetros que aparecen como los más influyentes, tanto sobre la escorrentía como sobre la producción de sedimentos, son la posición y la exposición, cuya influencia aumenta aún más si se combinan las dos variables.

La humedad del suelo previa a la simulación tiene una función importante, aunque limitada, sobre la escorrentía media global, tanto sobre la escorrentía total (cuadro 4) como sobre el coeficiente de escorrentía (cuadro 5). La pendiente tiene una influencia importante tanto sobre el parámetro K del modelo de Phillips (cuadro 7) como sobre la concentración de sedimentos (cuadro 8).

CUADRO 4

Relaciones significativas entre la escorrentía total y las características de las parcelas.

r=coeficiente de correlación F=función de distribución P=correlación múltiple

Variables	r	F	P
Posición	0,51	3,7	0,042
Exposición	0,48	3,09	0,067
Posición + Exposición	0,57	2,24	0,102
Fracción de limo grueso	0,36	3,2	0,087
Humedad previa a la prueba	0,33	2,78	0,11

No aparecen relaciones distintas entre los diferentes tipos de cobertura de las parcelas y las variables de escorrentía y de erosión (por ejemplo, no se ven influidas por la cobertura vegetal). No obstante, los porcentajes de suelo desnudo y de restos vegetales si influyen en el parámetro K de Phillips (cuadro 7) y en la concentración de sedimentos (cuadros 8 y 9).

CUADRO 5

Relaciones significativas entre el coeficiente de escorrentía y las características de las parcelas

Variables	r	F	P
Humedad previa a la prueba	0.37	3.58	0.07

Respecto a la textura, las fracciones arcilla y arena tienen una gran influencia sobre el parámetro S (sorptividad) del modelo de Phillips (cuadro 6). Este parámetro reagrupa, entre otros parámetros físicos, la capacidad de absorción de agua por el suelo. Esta relación resulta interesante ya que las cantidades de arcilla y arena van a determinar en gran medida la porosidad textural y la capacidad de retención de los suelos.

CUADRO 6

Relaciones significativas entre el parámetro S y las características de las parcelas

Variabes	r	F	P
Posición	0,56	4,81	0,02
Posición+Exposición	0,66	3,74	0,02
% Fracción arcilla	0,4	4,14	0,05
% Fracción arena	-0,41	4,52	0,04

Los resultados obtenidos presentan ciertas relaciones entre las características de las parcelas y las variables de escorrentía y erosión. Pero es muy probable que existan otros tipos de interrelaciones fundamentales no detectadas, ya que los métodos de análisis de la varianza y la regresión múltiple sólo muestran relaciones lineales, y los fenómenos naturales no son lineales y las relaciones entre variables son mucho más complejas.

CUADRO 7

Relaciones significativas entre el parámetro K y las características de las parcelas

Variabes	r	F	P
Posición	0.55	4.56	0.02
Exposición	0.57	4.96	0.02
Posición+Exposición	0.66	3.76	0.02
% Suelo Desnudo	-0.36	3.32	0.08
% Restos Vegetales	0.33	2.79	0.11
Pendiente	0.61	12.84	0.02

También se ha considerado la relación escorrentía/producción de sedimentos (cuadro 10). La sorptividad y el coeficiente de escorrentía son las variables que más influyen en la producción y concentración de sedimentos.

CUADRO 8

Relaciones entre la producción de sedimentos y las características de las parcelas

Variabes	r	F	P
Humedad previa a la prueba	0.37	3.58	0.07
Exposición	0.48	3.10	0.07
Posición+Exposición	0.78	7.27	0.0
% Restos Vegetales	-0.34	2.87	Q1
Pendiente	0.49	6.92	0.01
% Fracción de arcilla	0.44	5.37	0.03

CUADRO 9

Relaciones entre la concentración de sedimentos y las características de las parcelas

Variables	r	F	P
Exposición	0,69	9,40	0,0
Posición+Exposición	0,77	6,89	0,0
% Restos Vegetales	-0,44	5,53	0,03
Pendiente	0,52	8,30	0,01

CUADRO 10

Relaciones significativas entre la escorrentía y la producción de sedimentos

Par de variables	r	F	P
Escorrentía total y sedimentos	0,54	11,72	0,0
C. Escorrentía y sedimentos	0,58	14,31	0,0
Sortividad y sedimentos	0,42	6,01	0,02
C. Escorrentía y concentración de sedimentos	0,33	3,43	0,07
Sortividad y concentración de sedimentos	0,38	4,79	0,04

DISCUSIÓN

Si se compara la cantidad total de **escorrentía** entre las dos pruebas, se puede concluir que la escorrentía ha sido más importante en la posición de interfiuvio y en la ladera en solana que en la ladera en umbra durante la primera prueba, aunque durante la segunda resulta menos evidente.

El análisis de varianza ha demostrado que el binomio posición-exposición tiene gran influencia en los volúmenes de escorrentía y en los parámetros de la ecuación de Phillips. El factor exposición sólo aparece en relación con el parámetro K de Phillips.

La humedad de suelo previa a la simulación interviene menos sobre los parámetros del modelo de Phillips que sobre la cantidad de escorrentía y el coeficiente de escorrentía (Poesen, 1981).

También se percibe una relación entre el volumen de agua de escorrentía y la pérdida de suelo. Yair & Klein (1973) y Abrahams (1988) muestran que las tasas de sedimentos transportados están directamente relacionadas con el coeficiente de escorrentía. En dicha relación hay que recordar la función esencial del *splash* sobre la movilización y el transporte de partículas (De Ploey & Savat, 1968; De Ploey & Moeyerson, 1976; Savat, 1977; Park et al., 1982). El *splash* puede contribuir hasta en el 78% al transporte de sedimentos (Van Asch, 1983).

La cantidad de escorrentía es inferior durante la primera semana, pero el peso de sedimentos es superior. Esto se puede explicar por el lavado que se produce con la primera prueba. Yair & Lavee (1977) constatan que la concentración de sedimentos de la escorrentía disminuye con la repetición de las lluvias simuladas. La escorrentía es un factor esencial en la disminución progresiva de los sedimentos finos movilizados.

La cobertura del suelo no tiene un impacto excesivo sobre la escorrentía. Poesen (1986) y Poesen et al. (1990) muestran la estrecha correlación entre la pedregosidad

superficial y la cantidad de escorrentía, y De Ploey (1982) manifiesta la importante función de la cobertura vegetal en la escorrentía. Sin embargo, en estos trabajos, las variables que más influyen en la escorrentía son los porcentajes de suelo desnudo y de suelo cubierto por restos vegetales.

La textura del suelo influye sobre la escorrentía de varias formas. La fracción de limo grueso aumenta la escorrentía total. La fracción de arena disminuye la sorptividad mientras que la fracción de arcilla la aumenta. Respecto a la producción de sedimentos, la disminución de la fracción arcilla aumenta la erosión, contrariamente a lo mostrado por Bryan & De Ploey (1983). Sin embargo, Poesen (1982) habla de una erosibilidad máxima para sedimentos con un diámetro cercano a 96 μ m.

La pendiente tiende a reducir el factor K de Phillips. Por otra parte, su intervención en la producción y concentración de sedimentos es más elevado, sin embargo, la relación que aparece entre la pendiente y el volumen es negativa: con el aumento de la pendiente disminuye la escorrentía. Yair & Klein (1973), Kirkby & Kirkby (1974), Abrahams et al. (1986), Parsons & Abrahams (1987), han mostrado que el coeficiente de escorrentía está inversamente correlacionado con el gradiente de pendiente. Esto se atribuye al hecho de que el tamaño de las partículas y la rugosidad superficial aumentan con el gradiente de pendiente.

CONCLUSIONES

El trabajo de campo, de laboratorio y los análisis estadísticos han permitido extraer las siguientes conclusiones:

1. La necesidad de emplear siempre modelos de infiltración para estimar la capacidad real de infiltración del suelo. También destaca la existencia de una relación directa entre el déficit hídrico y el volumen de agua infiltrada.
2. Existe una relación entre el comportamiento hidrológico y la localización topográfica (**posición+exposición**).
3. El volumen y el coeficiente de escorrentía están en estrecha relación con la humedad del suelo previa a la simulación de lluvia. Sin embargo, los valores de los parámetros K y S de Phillips parecen seguir modelos independientes a la cantidad de agua infiltrada o de escorrentía. Estos modelos estarían más ligados a las condiciones edáficas y a las características de la cobertura del suelo.
4. La producción de sedimentos está relacionada con la localización topográfica, la pendiente, el porcentaje de restos vegetales que cubre el suelo y la fracción arcillosa.
5. No se han obtenido resultados significativos entre el comportamiento hidrológico y las variables independientes (clases texturales, tipos de cobertura...). Ha sido preferible utilizar los diferentes porcentajes de forma separada (% de restos vegetales, % de arcilla...).
6. Se observa una relación entre la escorrentía y la producción de sedimentos. La relación entre el parámetro S, que determina los volúmenes de infiltración, y los primeros minutos de experimentación es especialmente destacable.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación AGF95-0635 DH «Erosión del suelo, evaluación y control en agrosistemas frágiles del secano árido mediterráneo» financiado por la CICYT (1995-1997).

REFERENCIAS

- ABRAHAMS, A.D.; PARSONS, A.J. & LUCK, S.H. (1986): «Resistance to overland flow and desert hillslopes». *Journal of Geology*, 88, pp. 343-367.
- ABRAHAMS, A.D.; PARSONS, A.J. & SHIU-HUNGLUK (1988): «Hydraulic and sediment responses to simulated rainfall of desert hillslopes in Southern Arizona». *Catena*, vol. 15, nº 2, pp. 103-117.
- ALEXANDER, D. (1980): «Difference between *calanchi* and *biancane* badlands in Italy». *Badland, Geomorphology and Piping*. R. Bryan & A. Yair, Eds. Geobooks, Norwich, pp. 71-87.
- ALEXANDER, R.W. & CALVO, A. (1990): «The influence of lichens on slope processes in some Spanish badlands». *Vegetation and Erosion*. J.B. Thornes (Ed). pp. 385-398.
- ARNÁEZ, J. (1988): «Rills, gullies and badlands: Reviewing the problem». *Pirineos*, 132: 89-98.
- BENITO, G.; GUTIÉRREZ, M. & SANCHO, C. (1991): «Erosion patterns in rill and interrill areas in badland zones of the middle Ebro basin (NE Spain)». *Soil Erosion Studies in Spain*. M. Sala; J.L. Rubio & J.M. García-Ruiz, Eds. Geoforma Ediciones. Logroño, pp. 41-54.
- BENITO RUEDA, E.; GÓMEZ ULLA, A. & DÍAZ-FIERROS, F. (1986): «Descripción de un simulador de lluvia para estudios de erosibilidad del suelo y estabilidad de los agregados al agua». *Anales de Edafología y Agrobiología*, 45, pp. 112-115.
- BRYAN, R. & YAIR, A., Eds. (1982): *Badlands, Geomorphology and Piping*. Geobooks. Norwich, 408 pp.
- BRYAN, R. & DE PLOEY, J. (1983): «Comparability of soil erosion measurements with different laboratory rainfall simulators». *Catena, supplement* 4, pp. 33-55.
- BUBERIZER, G.D. (1980): «An overview of rainfall simulators». Papers nº 80-2033. *American Society of Agricultural Engineers*. St. Joseph, Michigan.
- CALVO, A.; GISBERT, J.M.; PALAU, E. & ROMERO, M. (1989): «Un simulador de lluvia portátil de fácil construcción». *Métodos y técnicas para la medición en el campo de procesos geomorfológicos*. M. Sala & F. Gallart, Eds. Monografía nº 1. Sociedad Española de Geomorfología. Barcelona, pp. 6-14.
- CALVO, A.; HARVEY, A.M.; PAYA, J. & ALEXANDER, R. (1991): «Response of badland surfaces in south east Spain to simulated rainfall». *Cuaternario y geomorfología*, 5, pp. 3-14.
- CAMPBELL, J.A. (1974): «Erosion rates in the Stereville badlands, Alberta», *Zeitschrift für Geomorphologie* 21, pp. 122-186.
- CAMPBELL, L.A. (1989): «Badlands and badlands gullies». *Arid zones geomorphology*. D.S.G. Thomas, Ed. Bellhaven Press, pp. 160-183.

- CERDÁ BOLINCHES, A. (1995): *Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos*. Geoforma Ediciones. Logroño, 151 pp.
- CLOTET, N.; GALLART, F. & SALA, M. (1987): «Los badlands: características, interés teórico, dinámica y tasas de erosión». *Notes de Geografía Física*. Universidad de Barcelona, pp. 15-16.
- CONESA GARCÍA, C.; LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (1995): «The cubing of gullies using the GIS methodology applied to a Badland in SouthEast Spain». *Conference on Erosion and Land Degradation in the mediterranean*. Proceeding, IGU, University of Aveiro (Portugal): 449-508.
- CONESA GARCÍA, C.; LÓPEZ BERMÚDEZ, F.; ALONSO SARRÍA, F. (1994): «Morfometría de grietas de retracción en un badland del Sureste peninsular» en J. Arnáez; J.M. García Ruiz; A. Gómez Villar (Eds.), *Geomorfología de España*, Sociedad Española de Geomorfología. Universidad de La Rioja, Logroño: 41-54.
- DE PLOEY, J. & SAVAT, J. (1968): «Contribution à l'étude de l'érosion de sols par le splash». *Zeitschrift für Geomorphologie* 12, pp. 174-193.
- DE PLOEY, J. & MOEYERSONS, S. (1976): «Qualitative data on splash erosion simulated on unvegetated slopes». *Zeitschrift für Geomorphologie* 25, pp. 120-131.
- DE PLOEY, J. (1982): «A stenflow equation for grasses similar vegetation». *Catena*, vol. 9, pp. 139-152.
- FERNÁNDEZ GAMBÍN, I.; ALONSO SARRÍA, F.; LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (1995): «Hydrological response to rainfall simulation in badlands areas. Spatial and seasonal changes» in *Erosion and Land Degradation in the Mediterranean* Proceedings. IGU, The University of Aveiro, Portugal: 47-58.
- GALLART, F.; CALVO, A.; LÓPEZ-BERMÚDEZ, F. & PUIGDEFÁBREGAS, J. (1992): «Analyzing badlands dynamic as dependent on climate and lithology along the Mediterranean facade of Spain: Research design». *Conference on Methods of Hydrologic Basin Comparison*. Oxford, pp. 152-154.
- GERITS, J.; IMESON, A.; VESTRATEN, J.M. & BRYAN, R. (1987): «Rill development and badland regolith properties». *Catena, suppl.* 8, pp. 141-160.
- HARVEY, A.M. (1982): «The role of piping in the development badlands and gully systems in South-East Spain». *Badlands Geomorphology and Piping*. R. Bryan & A. Yair, Eds. Geobooks, Norwich, pp. 317-335.
- HARVEY, A.M. & CALVO, A. (1991): «Process interactions and rills development badlands and gully slopes». *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl.* 83, pp. 175-194.
- IMESON, A.; KWAAD, F.J. & VERSTRATEN, J.M. (1982): «The relationship, of soil physical and chemical properties to the development of badlands in Morocco», *Badland, Geomorphology and Piping*. R. Bryan & A. Yair, Eds. Geobooks, Norwich, pp. 47-70.
- KIRKBY, A. & KIRKBY, M. (1974): «Surface wash at the semi-arid break in slope». *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl.* 21, pp. 151-176.
- LÓPEZ-BERMÚDEZ, F. & ROMERO-DÍAZ, M.A. (1989): «Piping erosion and badland development in South-East Spain». *Arid & semi-arid environments*. Catena, Supplement 14, pp. 59-73.
- LÓPEZ-BERMÚDEZ, F. & ALBALADEJO, J. (1990): «Factores ambientales de la degradación del suelo en el área mediterránea». *Degradación y regeneración del suelo*

- en condiciones ambientales mediterráneas*. J. Albaladejo; M.A. Stockig & E. Díaz, Eds. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Murcia, pp. 15-45.
- LÓPEZ BERMÚDEZ et al. (1992): «Caracterización y diseño del campo experimental de Los Guillemos (Murcia) para el estudio de procesos de erosión y desertificación en litologías blandas». *Estudios de Geomorfología en España, Tomo II*. Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología. Murcia, pp. 151-160.
- MEYER, L.P. (1988): «Rainfall simulators for soil conservation research». *Soil Erosion Researchs Methods*, pp. 75-95.
- MOLDENHAUER, W.C. (1965): «Procedure for studying soil characteristics using disturbed samples and simulated rainfall». *American Society of Agricultural Engineers*, 8(1), pp. 74-75.
- MORIN, J.; GOLDBERG, D. & SENIGER, J. (1967): «A rainfall simulator with a rotating disk». *Transactions, American Society of Agricultural Engineers*, 10, pp. 74-77.
- PARK, S.W.; MITCHEL, J.K. & BUBENZER, G.D. (1982): «Splash erosion modeling: physical analysis». *Transactions of America Society of Agricultural Engineers* 25, pp. 357-361.
- PARSONS, A.J. & ABRAHAMS, A.D. (1987): «Gradient particle size relations on quartz monzonite debris slopes in the Mojave desert». *Journal of Geology* 95, pp. 423-432.
- PAYÁ SERRANO, J. & CERDÁ BOLINCHES, A. (1992): «Cambios morfológicos y respuesta a la lluvia simulada de tres superficies de badlands, Petrer, Alacant». *Estudios de Geomorfología en España, Tomo II*. Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología. Murcia, pp. 161-170.
- PHILLIPS (1957): «The theory of infiltration». *Soil Science*.
- POESEN, J. (1981): «Rainwash experiments on the erodibility of loose sediments». *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 6, nº 3 & 4, pp. 285-307.
- POESEN, J. (1986): «Surface sealing as influenced by slope angle and position of simulated stones in the top layer of loose sediments». *Earth Surface Processes and Landforms* 11, pp. 1-10.
- POESEN, J.; INGELMO, F. & MÜCHER, H. (1990): «The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer». *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 15, nº 7, pp. 653-673.
- SAVAT, J. (1977): «The hydraulic of sheet flow on a smooth surface and the effect of simulated rainfall». *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 2, nºs 2 & 3, pp. 125-139.
- SORIANO, M.D.; COLICA, A. & TORRI, D. (1992): «Estudio preliminar de la influencia de la estructura y propiedades de los materiales en la evolución de badlands». *Estudios de Geomorfología en España, F. López-Bermúdez; C. Conesa & M.A. Romero*, Eds. Sociedad Española de Geomorfología, Murcia, pp. 183-191.
- TORRI, D. & MONACI, F. (1991): «La meccanica dell'erosione idrica superficiale nei sedimenti neogenici argillosi». La *gestione delle aree collinari argillosi e sabbiose*. R. Mazzati, Ed. Edizioni delle Autonomie. Roma, pp. 31-39.
- VAN ASCH, Th. W.J. (1983): «Water erosion on slope in some lands units in a mediterranean area». *Catena Supp.* 4, pp. 125-140.
- YAIR, A. & KLEIN, M. (1973): «The influence of surface properties on flow and erosion processes on debris covered slopes in an arid area». *Catena* 1, p. 118.

- YAIR, A. & LAVEE, H. (1977): «Trends of sediments removal from arid scree slopes under simulated rainstorms experiments». *Hydrological Sciences Bulletin* 22, pp. 379-391.
- YAIR, A. et al. (1980): «Runoff and erosion processes and rates in the Zin Valley Badlands, Northern Negev, Israel». *Earth Surface Processes and Landforms* 5, pp. 205-225.